

УПРАВЛЕНИЕ ЧАСТОТОЙ ИЗЛУЧЕНИЯ ЛАЗЕРА С ПОМОЩЬЮ  
ДВУЛУЧЕПРЕЛОМЛЯЮЩИХ КРИСТАЛЛОВ

В. П. Лопасов и М. М. Макогон

Предложен электрооптический метод сканирования частоты излучения лазера

В работе [1] экспериментально показана возможность использования двулучепреломляющих кристаллов для стабилизации частоты излучения лазеров. Подобный метод можно использовать для осуществления электрооптического сканирования частоты излучения рубинового лазера в течение импульса в люминесцентном контуре.<sup>1</sup> Электрооптический способ сканирования в отличие от механического [2] значительно проще в техническом исполнении, особенно для рубинового лазера, и позволяет получать произвольный закон изменения частоты излучения.

Сущность явления в следующем. Известно [3], что в любых средах показатель преломления является функцией частоты проходящего излучения и напряженности электрического поля (как собственного поля волны, так и внешнего поля). Поэтому, если двулучепреломляющую пластинку поместить между поляризатором и анализатором, то интенсивность прошедшего света будет меняться как  $\cos^2 \frac{\Delta\varphi}{2}$  [6], где

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda_0} d (n_e - n_o) = \frac{2\pi}{\lambda_0} d \Delta n(\omega, E)$$

разность набега фаз между обыкновенной и необыкновенной волнами в пластинке толщиной  $d$ ,  $\lambda_0$  — длина волны в вакууме,  $n_e$  и  $n_o$  — показатели преломления. Пропускание будет максимально при  $\Delta\varphi = \Delta n(\omega, E) = 2\pi m$  ( $m$  — целое число). Из последнего равенства можно найти  $\omega = \omega(E)$ . Разделение  $\Delta\lambda$  между максимумами пропускания [1]

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda_0^2}{d(n_e - n_o)}$$

У рубина ширина линии люминесценции  $\sim 10 \text{ \AA}$ , поэтому  $\Delta\lambda$  должно быть этого порядка. Достигнуть такого  $\Delta\lambda$  можно только при большом двулучепреломлении (при разумных толщинах пластинки). Кроме того, необходимо, чтобы кристалл обладал сильным электрооптическим эффектом. Совместить эти два условия в одном кристалле сложно, поэтому удобно использовать два кристалла, один из которых двулучепреломляющий (в нашем случае кальцит), а другой — электрооптический (KDP).

Расчет показывает, что для получения максимального пропускания и наиболее сильной зависимости  $\omega(E)$  необходимо анализатор ставить параллельно поляризатору, кальцит вырезать так, чтобы оптическая ось была в плоскости пластинки и угол между нею и плоскостью поляризации составлял  $45^\circ$ , оптическая ось KDP должна совпадать с направлением распространения света, а кристаллографическая ось  $x$  (или  $y$ ) — с направлением поляризации падающего света.

<sup>1</sup> Аналогичный метод впервые предложен М. С. Соскиным и С. П. Аноховым для сканирования частоты неодимового лазера.



Общая схема экспериментальной установки изображена на рис. 1, где 1 — 99%-е зеркало, 2 — пластинка кальцита толщиной 1.8 мм (так

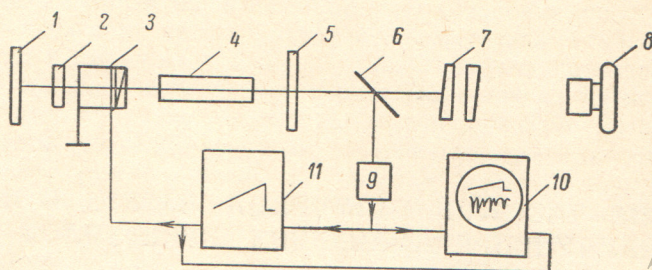


Рис. 1. Схема установки.

как свет дважды проходит пластинку, ее эффективная толщина в 2 раза больше геометрической), 3 — электрооптической затвор (KDP + поляризатор), 4 — термостабилизированный лазер ИТ-120 (стержень  $\varnothing 8 \times 120$  мм<sup>3</sup>), 5 — полупрозрачное зеркало ( $R = 80\%$ ), 6 — стеклянная пластинка, 7 — интерферометр Фабри—Перо, 8 — фотоаппарат, 9 — фотоумножитель ФЭУ-83, 10 — двухлучевой осциллограф ОК-17 М. Для изменения напряжения на KDP в течение импульса был изготовлен генератор 11 пилообразных импульсов с максимальной амплитудой 6 кв, который запускается первым пичком генерации лазера. Использование термостабилизированного лазера позволяло проводить все измерения при постоянной температуре.

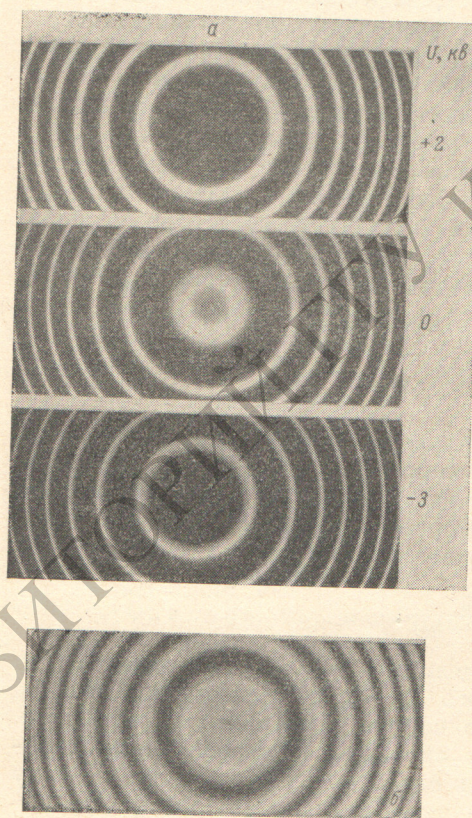


Рис. 2. Спектр излучения лазера.

*a* — при постоянном напряжении +2.0 и -3 кв, *б* — при изменяющемся напряжении (от -2 до +2 кв). База интерферометра 2 мм.

как свет дважды проходит пластинку, ее эффективная толщина в 2 раза больше геометрической), 3 — электрооптической затвор (KDP + поляризатор), 4 — термостабилизированный лазер ИТ-120 (стержень  $\varnothing 8 \times 120$  мм<sup>3</sup>), 5 — полупрозрачное зеркало ( $R = 80\%$ ), 6 — стеклянная пластинка, 7 — интерферометр Фабри—Перо, 8 — фотоаппарат, 9 — фотоумножитель ФЭУ-83, 10 — двухлучевой осциллограф ОК-17 М. Для изменения напряжения на KDP в течение импульса был изготовлен генератор 11 пилообразных импульсов с максимальной амплитудой 6 кв, который запускается первым пичком генерации лазера. Использование термостабилизированного лазера позволяло проводить все измерения при постоянной температуре.

На рис. 2, *a* показаны интерферограммы излучения при  $T = 15^\circ\text{C}$  и напряжениях +2.0 и -3 кв. В пределах ошибки сдвиг длины волны излучения линейен по напряжению:

$$\Delta\lambda = kU, \quad k = 0.17 \frac{\text{Å}}{\text{кв}}.$$

Ширина линии составляет  $0.1 \text{ Å}$ . На рис. 2, *б* показана интерферограмма, полученная при изменяющемся напряжении от -2 до +2 кв. Интегральная ширина спектра  $0.78 \text{ Å}$ , так что сдвиг частоты  $0.68 \text{ Å}$ . Величина сдвига частоты в нашем случае была ограничена со стороны энергии накачки. Максимальная энергия накачки превышала пороговую всего в 1.3 раза, тогда как для перестройки частоты излучения неодимового лазера в пре-

делах полуширины линии излучения потребовалось 5—6-кратное превышение порога [4].

В наших экспериментах не ставилась задача максимального сужения спектра излучения. В работе [5] показано, что при исключении дискри-



минации мод ширина линии излучения достигает  $0.002 \text{ \AA}$ , однако от пика к пичку длина волны изменяется на  $\sim 0.07 \text{ \AA}$ , так что интегральная ширина спектра достигала  $1.3 \text{ \AA}$ . Эти результаты были получены при скоростной развертке спектра во времени с помощью СФР-2М. Исключение дискриминации мод в лазере с электрооптическим сканированием позволит получить лазер с малой шириной линии излучения и плавной перестройкой частоты.

За техническую помощь в проведении экспериментов авторы благодарны И. В. Тырышкину.

#### Литература

- [1] L. CirKovic, D. E. Evans, M. I. Forrest, I. Katzenstein. Appl. Opt., 7, 981, 1968.
- [2] В. И. Кравченко, М. С. Соскин, В. В. Торабаров. ЖЭТФ, Письма в Редакцию, 5, 355, 1967.
- [3] Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. Электродинамика сплошных сред. М., 1967.
- [4] Н. С. Белокриницкий, В. Л. Броуде, В. И. Кравченко, А. Д. Мануильский, Н. Ф. Прокопюк, М. С. Соскин. ЖЭТФ, 52, 424, 1967.
- [5] В. И. Малышев, А. С. Маркин, А. А. Сычев. ЖТФ, 39, 334, 1969.
- [6] Г. В. Розенберг. Оптика тонкослойных покрытий. М., 1958.

Поступило в Редакцию  
28 апреля 1969 г.